

600 公里时速磁浮线路行车一体化模拟技术与随机动力性能评估

毛建锋[†] 国巍 余志武

(中南大学 土木工程学院、高速铁路建造技术国家工程研究中心,长沙 410083)

1 科学问题背景

经过 30 多年的发展,我国自主研发的中低速 EMS 磁浮列车关键技术已经成熟. 2019 年 5 月 23 日中国时速 600km/h 高速磁浮试验样车在青岛下线,标志着我国在高速磁浮技术领域实现重大突破. 同时,超高速磁浮列车(600km/h)可以填补航空与高铁客运之间的旅行速度空白,大力发展我国高速磁悬浮技术将在技术带动和国际竞争中具有重大的战略意义.

磁浮列车运行是一个机械结构—悬浮控制—弹性桥梁相互耦合的非线性动力问题,电磁铁与轨道梁的毫米级悬浮控制技术将大大增加了高速磁浮列车的安全行车难度. 而由于磁浮列车的成网运行对基础设施的要求极高,技术难度大,类似于高速铁路,为了保证磁浮列车运行的高平顺性,磁浮线路大量使用轨道—桥梁结构体系. 随着磁浮列车的速度不断提升,磁浮线路列车—工程结构系统随机动力学问题将日益突出,在轨道不平顺、风荷载、结构参数等多种随机激励作用下,磁浮车桥耦合模型以及磁轨关系呈现强随机性,而现有磁浮列车—轨道梁系统耦合动力学研究大多以传统确定性车桥振动响应为基础,难以更准确揭示三维磁浮列车—轨道梁复杂系统动力振动特性,磁浮列车—轨道梁系统随机动力学研究需求广阔.

因此,开展 600 公里时速磁浮线路行车一体化模拟技术与随机动力性能评估研究,更科学、合理地揭示高速磁浮列车—轨道梁系统桥上行车的随机振动特征,将有助于确保高速磁浮列车桥上安全、平稳运行,为高速磁浮线路的发展提供更坚实的理论基础,具有重要的理论意义和工程应用价值.

2 科学问题难点与突破

600 公里时速磁浮线路行车一体化模拟技术与随机动力性能评估方面的关键科学问题与难点如下:

(1)超高速磁浮系统非线性空间磁轨相互作用机理

由于磁浮列车的超高速动态运行,采用常规基于开环、静态联结的磁轨关系,显然不足以反映实际主动控制的、电磁时变下的动态磁轨特征,亟待进一步开展超高速磁浮列车动态磁轨关系的研究,是研究磁浮线路行车一体化模拟技术与行车安全评估的关键核心科学问题.

(2)超高速磁浮列车—轨道梁系统“流固耦合”作用机理

飞机的临界起飞速度是 500~1000km/h,当超高速磁浮列车达到 600km/h 运营速度时,磁浮列车流场的空气动力学效应必然显著影响线路行车安全. 研究超高速磁浮列车—轨道梁系统“流固耦合”作用机理,明确空气动力随机受力特征,可极大提升超高速磁浮列车行车安全评估水平,是极具挑战性的科学难题.

(3)超高速磁浮系统随机动力分析及行车安全评估理论

考虑轨道不平顺、风荷载、地震激励、系统结构参数等多种随机激励作用下,建立高速磁浮列车—轨道梁系统空间随机振动模型,发展精确高效的高速磁浮列车—轨道梁系统随机振动分析及行车安全评估理论,是更精确揭示超高速磁浮列车—轨道梁系统随机振动特征的基础理论难题.

2023-11-04 收到第 1 稿,2024-01-22 收到修改稿.

* 国家重点研发计划资助(2023YFB4302500),国家自然科学基金资助目(52078485),中国中铁股份有限公司科技开发计划—重大课题(2021-重大-16), National Key R&D Program of China (2023YFB4302500), National Natural Science Foundation of China(52078485), Science and Technology Research and Development Program Project of China Railway Group Limited(2021-Major-16).

[†] 通信作者 E-mail:jfmao1@csu.edu.cn